

LiTaO₃ SUBSTRATE WITH POLARIZATION INVERSION LAYER AND DEVICE USING SAME

Patent Number: JP3101280

Publication date: 1991-04-26

Inventor(s): SHIMIZU HIROSHI; others: 02

Applicant(s): HIROSHI SHIMIZU

Requested Patent: JP3101280

Application Number: JP19890239067 19890914

Priority Number(s):

IPC Classification: H01L41/18; H01L41/24; H03H9/25

EC Classification:

Equivalents: JP2516817B2

Abstract

PURPOSE: To improve temperature characteristics by selecting the value of h so that the value of k and h may fit into a specific range for maintaining an electromechanical coupling coefficient to be a large value and by reducing a temperature coefficient of delay time and propagation attenuation of a wave motion when the depth of a polarization inversion layer is set to h and the wave number of an SH type elastic surface wave which propagates on the surface of the polarization inversion layer is set to k .
CONSTITUTION: kh (k ; wave number of SH type elastic surface wave with a wavelength of λ to be excited, h ; thickness of polarization inversion layer) ranges from 1.0 to 6.0 for an LiTaO₃ rotary Y plate with a rotary angle of 30 to 40 degrees, thus achieving an improved temperature characteristics, reducing propagation attenuation of wave energy in this range, and forming a region where electromechanical coupling coefficient shows a larger value to some extent.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑪ 公開特許公報 (A) 平3-101280

⑫ Int.Cl. 5

H 01 L 41/18
41/24
H 03 H 9/25

識別記号

A 庁内整理番号
7454-5F

⑬ 公開 平成3年(1991)4月26日

7125-5J
7454-5F

H 01 L 41/22

Z

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全5頁)

⑭ 発明の名称 分極反転層を有する LiTaO₃ 基板及びこれを用いたデバイス

⑮ 特願 平1-239067

⑯ 出願 平1(1989)9月14日

特許法第30条第1項適用 平成元年3月14日、社団法人日本音響学会発行の「日本音響学会平成元年
度春季研究発表会講演論文集Ⅱ」に発表

⑰ 発明者 清水 洋 東京都調布市小島町1丁目1番1号 RC-510

⑰ 発明者 中村 喜良 宮城県仙台市泉区南中山3丁目18番2号

⑰ 発明者 艾 莉 宮城県仙台市青葉区南参上町19の1 A-203

⑰ 出願人 清水 洋 東京都調布市小島町1丁目1番1号 RC-510

明細書

1. 発明の名称

分極反転層を有する LiTaO₃ 基板及びこれを
用いたデバイス

2. 特許請求の範囲

(1) 一主表面に分極反転層を形成したカット角30度乃至40度 LiTaO₃ 回転Y板に於いて、前記分極反転層の深さをh、前記分極反転層表面を伝搬する SH タイプ 弹性表面波の波数 $\frac{1}{k} (=2\pi/\lambda, \lambda$ は波長) とした場合、k h の値が 1.0 乃至 6.0 となるよう前記上記の値を適ぶことによって電気機械結合係数を大なる値に保ちつつ遅延時間温度係数及び励起した波動の伝搬減衰を小ならしめたことを特徴とする分極反転層を有する LiTaO₃ 基板。

(2) 請求項(1)記載の LiTaO₃ 基板に於いて、その分極反転層表面にインタディジタル・トランジューサ (IDT) 電極を形成することによって SH タイプ 弹性表面波の励起或は受信を行うようにしたことを特徴とする分極反転

層を有する LiTaO₃ 基板を用いたデバイス。

(3) SH タイプ 弹性表面波の伝搬路であって、IDT 電極前後の基板表面部分を全面メタライズすることによって該部に於ける遅延時間温度係数を一層小ならしめたことを特徴とする請求項(2)記載の分極反転層を有する LiTaO₃ 基板を用いたデバイス。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は所定の厚さの分極反転層を一主表面に形成することによって該主表面を伝搬する SH タイプ 弹性表面波についての温度特性、伝搬減衰特性を向上せしめた LiTaO₃ 基板及びこれを用いたデバイスに関する。

(従来技術)

従来から本願発明者等は LiTaO₃、LiNbO₃ 基板表面に対し熱処理を施すことにより或はプロトン交換を行った後熱処理を行うことにより基板表面に分極反転層を形成する方法及び斯る分極反転層を有する圧電基板の特性、工業上の

利用法について研究した結果を開示して来た
(特願昭61-197905, 同61-205506
, 同61-205508及び同62-160792参照)。

一方, 通常の LiTaO_3 35度回転Y板に於いては, 結晶のX軸方向に伝搬するSHタイプ弾性表面波の遅延時間温度係数 TCD は基板表面が自由表面の場合には $45 \text{ ppm}/\text{C}$ で良好とはいえないが短絡表面(例えはインタディジタル・トランジスター(IDE)電極の如き導電物質を密に付着した表面)の場合には TCD は $32 \text{ ppm}/\text{C}$ と若干良好となる為, 上記の基板は SAW 共振子等に利用されている。

上述した如き短絡表面を有する LiTaO_3 回転Y板のSHタイプ弾性表面波に対する温度特性が自由表面の場合のそれに比して向上する理由を検討するに, SHタイプ弾性表面波に対する圧電基板の実効弾性定数 C は, 基板表面を短絡した場合には電束密度 D が一定の場合のX軸方向伝搬の速い横波に対応する弾性定数 C^D よりも電界強度 E が一定の場合のそれ C^E に近い値

波長 λ なる SHタイプ弾性表面波の波数, 即ち $2\pi/\lambda$, h は分極反転層の厚さ)が 1.0 乃至 6.0 の範囲が良好な温度特性を有し更にこの範囲で波動エネルギーの伝搬減衰を極めて小さくなし得ることが判明すると共に, これは電気機械結合係数もある程度大きな値を示す領域であることが明らかとなったので, 斯る条件の基板を各種表面波デバイスに利用せんとするものである。

(実施例)

以下本発明をその理論解析による最適条件導出の過程説明と上記最適条件の下での基板を用いたデバイスの実施例とに基づいて詳細に説明する。

① 温度特性の解析

本発明の主題たる分極反転層を有する LiTaO_3 基板を伝搬する SHタイプ弾性表面波 (Leaky板) に対する温度特性及び伝搬減衰特性の解析について説明する。

(a) LiTaO_3 の基準温度 25°C における材料定数(弾性定数, 圧電定数, 潜電率, 線膨張係数)

となる為であると考えられるが, C^E の温度係数の方が C^D のそれよりも小さいという性質があるので, 表面を短絡した圧電基板の SHタイプ表面波に対する温度特性は自由表面のそれより良好になる解釈されている。

ところで前述した分極反転層を有する LiTaO_3 基板はその極性が反転する反転分域境界で一種の境界短絡効果を有すると考えられるから, 斯る分極反転層を有する LiTaO_3 基板の温度特性は通常のそれに比し良好な温度特性を有する可能性がある。

(発明の目的)

本発明は上述した如き從来本願発明者等が研究を続けてきた分極反転層を有する LiTaO_3 基板に於ける温度特性改善の可能性を追求しその条件を見出し, それを弾性表面波デバイスに利用せんとするものである。

(発明の概要)

数値解析の結果, 回転角 30 度乃至 40 度の LiTaO_3 回転Y板について k_b (k は励起する

数) 及びその温度係数の値としてはスマス (Smith) 等の示したそれを用いる。

(b) 温度による材料定数 X の変化は 3 次以上の項は無視して,

$$X = X_{25} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n (\Delta T)^n\right)$$

a_n は n 次の温度係数, ΔT は 25°C からの温度変化 (1)

で与える。

(c) 弹性表面波についての遅延時間温度係数 TCD は,

$$\begin{aligned} TCD &= \partial \tau / \tau \partial T = \partial \delta / \delta \partial T - \partial \alpha / \alpha \partial T \\ &= \eta - TCV \end{aligned}$$

τ は遅延時間, δ は伝搬方向の長さ, α は波の位相速度, η は線膨張係数, TCV は位相速度の温度係数 (2)

(d) 伝搬方向 (X軸方向) の η は

$$\eta = \partial \delta / \delta \partial T = \alpha x = 1.61 \times 10^{-6} \quad \dots \dots \dots (3)$$

(LiTaO_3 の X 軸方向の 膨張係数)

$$(f) TCV = \Delta \alpha / \alpha_{25} \Delta T \quad \dots \dots \dots (4)$$

(g) ここで 25°C を中心とする 2 つの温度 T_1, T_2 と T_2, T_1 での位相速度を v_{T_1}, v_{T_2} とすると、 T_{CD} は上記(2), (3)式及び(4)式より

$$T_{CD} = 1.61 \times 10^{-6} - (1/v_{T_2}) \{ (v_{T_2} - v_{T_1}) / (T_2 - T_1) \} \quad \dots \dots \dots (5)$$

と表わすことができるから、これより T_{CD} を求めることができる。

次に前記(5)式に於ける v_T の値を数値解析によって求める方法について説明する。

(h) 第 3 図を勘案して運動方程式と電荷方程式は以下の如く表わされる。

運動方程式

$$C'_{ijk\ell} (\partial^2 U_k / \partial x_\ell \partial x_i) + e'_{kij} (\partial^2 \phi / \partial x_k \partial x_i) = \rho (\partial^2 U_j / \partial t^2)$$

電荷方程式

$$e'_{ik\ell} (\partial^2 U_k / \partial x_\ell \partial x_i) - e'_{ik} (\partial^2 \phi / \partial x_k \partial x_i) = 0$$

U は変位、 ϕ は電位、 C は弾性定数、 e は圧電定数、 e' は誘電率、 C' の如きは座標変換後の値であることを示す

相速度 v 、 k は波数 $2\pi/\lambda$ 、 βk は伝搬方向の減衰定数、 αk は深さ方向 (x_2 方向) の減衰定数である。又、 $\rho_{in}, \rho'_{in}, \rho''_{in}$ は $\alpha_n k$ に対応して求まる値であり、 A_n, A'_n, A''_n は未定数である。

(i) 基板表面 ($x_2 = -h$) と分極反転の境界 $x_2 = 0$ に於ける機械的、電気的境界条件は、

変位 $x_2 = 0 \quad x_2 = h$

変位 $U_{Ai} = U_{Bi} \quad \dots \dots \dots$

応力 $(F_{zj})_A = (F_{zj})_B \quad (F_{zj})_B = 0$

電位 $\phi_A = \phi_B \quad \phi_B = 0$ (短絡表面の場合)

電束密度 $(D_z)_A = (D_z)_B \quad (D_z)_B = (D_z)_0$
と与えられる。

但し、応力 $F_{zj} = C'_{zjk\ell} \partial U_k / \partial x_\ell + e'_{kzj} \partial \phi / \partial x_k$

電束密度 $D_z = e'_{zkl} \partial U_k / \partial x_\ell - e'_{zk} \partial \phi / \partial x_k$

である。 $\dots \dots \dots (9)$

(k) そこで(9)式に(7)式及び(8)式を代入すると次の 12 元同次連立方程式が得られる。

..... (6)

(i) さて第 3 図に於いて回転 Y 板上を x_1 方向に伝搬する弾性表面波を与える方程式(6)の一般解は領域 A に於いて以下の如く表わすことができる。

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{Ai} = \sum_{n=1}^4 \rho_{in} A_n \exp(-\alpha_n k x_2) \cdot \exp(jk(vt - (1-j\beta)x_1)) \\ \phi_A = \sum_{n=1}^4 \rho'_{in} A'_n \exp(-\alpha_n k x_2) \cdot \exp(jk(vt - (1-j\beta)x_1)) \end{array} \right. \quad (X_1 > 0) \dots \dots \dots (7)$$

一方 B 領域 (分極反転層内) に於いては表面から x_2 方向に減衰する波と、境界から $-x_2$ 方向に減衰する波があるので一般解は以下の如く表わされる。

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{Bi} = \sum_{n=1}^4 (\rho'_{in} A'_n \exp(-\alpha_n k x_2) + \rho''_{in} A''_n \exp(\alpha_n k x_2)) \cdot \exp(jk(vt - (1-j\beta)x_1)) \\ \phi_B = \sum_{n=1}^4 (\rho'_{in} A'_n \exp(-\alpha_n k x_2) + \rho''_{in} A''_n \exp(\alpha_n k x_2)) \cdot \exp(jk(vt - (1-j\beta)x_1)) \end{array} \right. \quad (0 > x_2 > -h) \dots \dots \dots (8)$$

但し(7), (8)式に於いて ρ は伝搬する波の位

$$\left(\begin{array}{c} M_{m,n} \\ (12 \times 12 \text{ の行列}) \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A'_1 \\ A'_2 \\ A'_3 \\ A'_4 \\ A''_1 \\ A''_2 \\ A''_3 \\ A''_4 \end{array} \right) = 0 \quad \dots \dots \dots (10)$$

方程式(10)が解を有する為には係数行列の行列式 $|M|$ が 0 でなければならないのでこれを満足するよう α と β を解けばよいが、近似的には $|M|$ が最小となる α 及び β を求めることによって解が得られる。

斯くすることによって温度 T_1, T_2 及び 25°C に於ける位相速度 v を求めれば前記(5)式に

より遅延時間温度係数 TCD が求められるが、波動の位相速度 v は又分極反転層の厚さ h と伝搬定数 k との積 $k h$ の関数でもあるから TCD も $k h$ の関数、即ち $TCD = f(kh)$ として数値解析により求めることができる。同時に波動の伝搬減衰も $k h$ の関数として求め得ることは云うまでもない。

III 数値解析の結果

(a) 上述した如き手法を用いて数値解析を行い分極反転層を有する LiTaO₃ 基板に於ける反転層の厚さと遅延時間係数 TCD との関係を調べたところ第1図に示す如き結果を得た。これは 35° 回転 Y 板についての結果であるが、回転角 θ が 30 度乃至 40 度の間では TCD の $k h$ 依存性は殆んど変化がなく、第1図と実質的に同様であることも確認された。

即ち、LiTaO₃ の 30° 乃至 40° 回転 Y 板表面に厚さ h の分極反転層を形成し $k h$ の値を 1.0 乃至 6.0 の間の適当な値に選ぶことにより、従来一般の分極反転層を設けない LiT

IV 圧電デバイスへの応用

以上(1), (II)の結果を勘案するに回転カット角 θ 3 度乃至 35 度の LiTaO₃ 基板表面に $k h$ が 1.5 乃至 3.5 の適当な深さに分極反転層を形成すれば、従来 VTR 用共振子等に用いられていた X カット 112 度 Y 方向伝搬の LiTaO₃ 基板を用いたものより温度特性、電気機械結合係数共に良好な小型の共振子を得ることができる。

因みにカット角 35 度回転 Y の LiTaO₃ 基板の電気機械結合係数 K^2 が最高の値を示す $k h$ 値は本願発明者による従前の解析によれば概ね 3 でありその際の K^2 値は 4 % 程度であって $k h$ 値 1.0 乃至 6.0 の範囲では K^2 が著しく劣化するわけでもないことに注目されたい。

又、本発明に係る LiTaO₃ 基板はその温度特性及び K^2 の値を勘案するに中帯域幅の共振子及びフィルタへの応用が最適であろう。

更に、温度特性にやゝ不満はあるものの遅延線に用いてもよい。この場合には波の送受用 IDT の間の伝搬路表面には全面メタライズ膜を

aO₃ 基板の TDC が表面短絡の場合 32 ppm/°C 程度であったものが最小 14 ppm/°C 程度まで大幅に向上することが理解されよう。

(b) 又、第2図(a)及び(b)は伝搬する表面波のバルク波放射に基づく伝搬減衰の $k h$ 依存性を調べた結果を示す図であって、圧電デバイスとしての利用価値がある短絡表面について $k h$ が 1.0 乃至 6.0 の間に伝搬減衰が実質上零、即ち完全な表面波となる領域の存在することが判る。

(c) 一方、本願発明者等は既に分極反転層を有する LiTaO₃ 基板を伝搬する SH タイプ弹性表面波についての電気機械結合係数 K^2 の $k h$ 依存性について解析しており、 K^2 は $k h$ が 0.7 付近で零となり、 $k h$ が増大すると K^2 も再び増大することを見出している。

この結果を併せ勘案するに $k h$ の値を 1.0 乃至 6.0 の間の適当な値に選べば K^2 , TCD 及び伝搬減衰のいずれをも同時に満足することが可能であろう。

施こすのがよい。

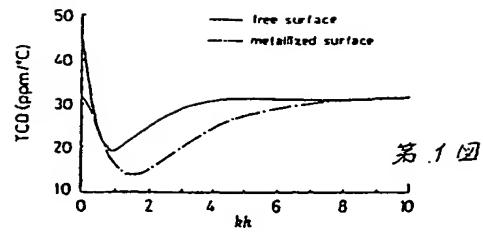
(発明の効果)

本発明は以上説明した如き条件を LiTaO₃ 基板に付与することによってその温度特性を従来のそれよりも大幅に向上せしめたものであるから、LiTaO₃ を利用した表面波共振器成はフィルタ等のデバイスの温度特性を改善する上で著しい効果がある。

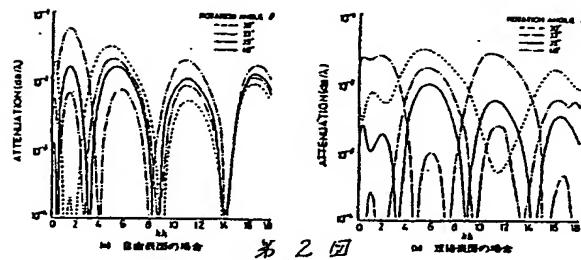
4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に係る LiTaO₃ 基板に於ける温度特性と分極反転層の深さとの関係を示す図、第2図(a)及び(b)は夫々励起した波動の伝搬減衰と分極反転層の深さとの関係を示す図であり、前者は自由表面について、後者は短絡表面についての図、第3図は本発明をなすに至った理論解析の基礎となる LiTaO₃ 基板の諸パラメータを示す図である。

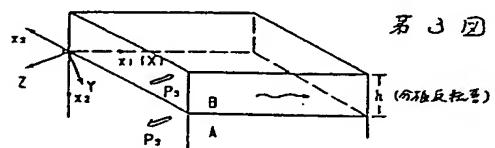
特許出願人 清水 芹



第1図



第2図



第3図